

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПИТАЮЩЕЙ ЛИНИИ В ПЛОСКОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ АНТЕННЕ

Ю.Б. Нечаев<sup>1</sup>, Д.Н. Борисов<sup>2</sup>, А.И. Климов<sup>3</sup>, А.В. Золотухин<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> г. Воронеж, ОАО «концерн «Созвездие», [nechaev\\_ub@mail.ru](mailto:nechaev_ub@mail.ru),

<sup>2</sup> г. Воронеж, Воронежский государственный университет, [borisov@sc.vsu.ru](mailto:borisov@sc.vsu.ru),

<sup>3</sup> г. Воронеж, Воронежский институт МВД России, [alexserkos@inbox.ru](mailto:alexserkos@inbox.ru))

## USING SHORT FEED LINES OF PLANAR DIFFRACTION ANTENNA

*Yu.B. Nechaev, D.N. Borisov, A.I. Klimov, A.V. Zolotuhin*

В настоящее время отмечается значительный интерес к использованию миллиметровых волн в различных радиотехнических системах, в частности, в радиорелейных линиях связи для высокоскоростной многоканальной передачи информации [1]. Новые возможности построения компактных плоских антенн появляются при использовании принципов дифракционной электроники [2, 3]. При этом конструкция антенны содержит направляющую структуру поверхностных волн, поле которых последовательно возбуждает элементы дифракционной решетки. В результате дифракции неоднородной электромагнитной волны на решетке формируется излучение с требуемыми электродинамическими характеристиками, определяемыми параметрами направляющей структуры и антенной решетки [2, 3]. Важными достоинствами таких плоских дифракционных антенн являются: обеспечение высокого КПД за счет использования поверхностных волн при невысоких значениях замедления их фазовой скорости, возможность реализации требуемого амплитудного распределения поля в раскрыве, простота и компактность конструкции, высокая технологичность. Коэффициент полезного действия, учитывающий тепловые потери, достигает 80-90% на частотах вплоть до нескольких десятков ГГц. В целом, в отношении плоских дифракционных антенн практически нет ограничений по рабочим частотам и они являются одними из наиболее перспективных антенн для использования в диапазоне миллиметровых волн.

Анализ известных технических решений показывает, что основными проблемами при создании плоских дифракционных антенн на основе плоского дифракционного волновода (ПДВ) и дифракционной решетки (ДР) являются построение эффективного устройства возбуждения ПДВ и оптимизация параметров конструкции излучающего раскрыва на основе ПДВ и ДР. В работе [4] была предложена конструкция излучающего раскрыва плоской дифракционной антенны с рабочей полосой частот 36-37.5 ГГц при минимальном коэффициенте усиления порядка 30 дБ. Основным недостатком данной конструкции является высокий уровень боковых лепестков (УБЛ) диаграммы направленности (порядка -11,5 дБ в нижней части и -5 дБ в верхней части рабочего диапазона частот). Для снижения УБЛ можно использовать известный метод коррекции амплитудного распределения поля в направлениях, перпендикулярных лентам решетки, заключающийся в изменении ширины лент или использовать неэквидистантную дифракционную решетку. Однако для этих методов необходима оптимизация раскрыва ДР, что требует значительных вычислительных и временных затрат.

Кроме того, для снижения УБЛ диаграммы направленности ДР можно использовать метод, заключающийся в использовании режима короткого замыкания (КЗ) основной линии передачи, питающей излучающие элементы решетки. Для анализа свойств антенной решетки с ленточной ДР рассмотрим непрерывную линейную антенну, состоящую из симметричных плеч с общим центральным питанием и возбуждением бегущих волн, распространяющихся в противоположных направлениях от точки питания и характеризующиеся продольной комплексной постоянной распространения [5]:

$$k_x = \beta_{-1} = \beta - j\alpha - \frac{2\pi}{d},$$

где  $\beta = k_0(\sin(\theta) + \lambda/d) = k_0\gamma$  – фазовая постоянная основной пространственной гармоники;  $\gamma = \sin(\theta) + \lambda/d$  – коэффициент замедления бегущей волны,  $d$  – пространственный период

структуры,  $\alpha$  – постоянная ослабления (для структуры без тепловых потерь  $\alpha$  характеризует только потери на излучение в окружающее пространство).

Амплитудное распределение тока вдоль плеч можно представить двумя функциями вида [5]:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= e^{jk_x(x+X)} + Se^{-jk_x(x+X)} \text{ для } -X \leq x \leq 0, \\ f_2(x) &= e^{-jk_x(x-X)} + Se^{jk_x(x-X)} \text{ для } 0 \leq x \leq X. \end{aligned}$$

где  $S$  – комплексный коэффициент отражения напряжения на концах антенны,  $X$  – длина половины антенны (длина левого и правого плеча). Тогда, при  $S=0$  имеет место режим работы плеч антенны на согласованные нагрузки, при  $S=1$  – режим холостого хода, при  $S=-1$  – режим короткого замыкания.

Рассматривая линейную антенну как бесконечно узкую вырезку из плоского раскрыва в направлении перпендикулярном элементам решетки, ее ненормированную диаграмму направленности по напряженности поля для плоскости перпендикулярной плоскости раскрыва ДР можно описать выражением:

$$F(\theta) = \int_{-X}^{\Delta x} f_1(x) e^{jk_0 x \sin \theta} dx + \int_{\Delta x}^X f_2(x) e^{jk_0 x \sin \theta} dx,$$

где  $\theta$  – угол, отсчитываемый от оси перпендикулярной плоскости ДР,  $\Delta x$  – расстояние между плечами антенны.

Анализ диаграммы направленности в режимах КЗ, согласованной нагрузки и холостого хода на концах структуры показал, что при отклонении частоты от средней главный лепесток ДН расширяется (с последующим расщеплением) в силу углочастотной дисперсии структуры, что характерно для линейных антенных решеток с последовательным питанием. В режиме КЗ ( $S=-1$ ) при некотором расширении ДН в плоскости перпендикулярной плоскости ДР достигается довольно низкий УБЛ (ниже -25 дБ). Кроме того, в режиме КЗ главный лепесток диаграммы направленности в наименьшей степени подвержен расщеплению, что особенно важно для построения широкополосных антенн. Некоторый проигрыш в коэффициенте направленного действия (КНД) на средней рабочей частоте (максимальный КНД составил 0.752 от соответствующего значения при  $S=1$ ) компенсируется превышением КНД соответствующих значений при  $S=0$  и  $S=1$  на крайних рабочих частотах 36.0 и 37.5 ГГц.

Таким образом, использование метода снижения УБЛ диаграммы направленности, основанный на использовании режима короткого замыкания основной линии передачи, питающей излучающие элементы решетки, позволяет значительно уменьшить УБЛ (до -25 дБ и более) плоской дифракционной антенны без существенного усложнения ее конструкции.

### Литература

1. Huang, Kao-Cheng. Millimetre Wave Antennas for Gigabit Wireless Communications: a Practical Guide to Design and Analysis in a System Context / Kao-Cheng Huang, David J. Edwards. – JohnWiley & Sons Ltd, 2008. – 271 p.
2. Bahl I. J. Microstrip Antennas / I. J. Bahl, P. Barthia. – Ed. Artech House, 1980. – 845 p.
3. James J. R. Handbook on Microstrip Antennas / J. R. James, P. S. Hall. – London : Peter Peregrinus Ltd, 1989. – 1311 p.
4. Синтез плоской дифракционной антенной решетки миллиметрового диапазона / Ю.Б. Нечаев, Д.Н. Борисов, А.И. Климов и др. // Сборник трудов X МНТК «Физика и технические приложения волновых процессов». – Самара: СамГУ, 11-17 сентября, 2011. – С. 82.
5. Sutinjo A. The Effects of Measurement Distance on the Broadside Symmetric Leaky Wave Antenna / A. Sutinjo, M. Okoniewski, R. Johnston // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2008. – vol. 7. – P. 706-709.